

СТРУКТУРА СПЛАВОВ NiMnAl, NiMnTi и NiMnGa

Белослудцева Е.С., Куранова Н.Н., Марченкова Е.Б.

Стукалов В.Ю., Укусников А.Н.

Руководитель – профессор, д.ф.-м.н Пушкин В.Г.

Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Ebelosludceva@mail.ru

В данной работе изучено поведение и свойства тройных сплавов системы Ni–Mn, легированных алюминием, титаном и галлием в широком интервале температур. Исследование проводились методами измерений электросопротивления, просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии, дифракции электронов и рентгеновских лучей.

Как известно, мартенситное превращение в бинарных сплавах Ni₅₀Mn₅₀ и Ni₄₉Mn₅₁ происходит при достаточно высоких температурах. Нами ранее в данных сплавах были подробно изучены тонкая структура и мартенситные превращения, установлены структурный тип критические температуры термоупругого мартенситного превращения: $M_s = 970$ К, $M_f = 920$ К, $A_s = 970$ К, $A_f = 1020$ К, $M_s = 940$ К, $M_f = 930$ К, $A_s = 990$ К, $A_f = 1000$ К, соответственно [1, 2]. В настоящей работе исследовано влияние квазибинарного легирования сплавов Ni–Mn третьим компонентом (алюминием, титаном или галлием) на особенности их структуры и термоупругие мартенситные превращения, определены их критические точки прямых (M_s , M_f) и обратных (A_s , A_f). Критические точки измерены методом двух касательных по кривым зависимости электросопротивления или магнитной восприимчивости (для сплавов, легированных галлием) от температуры. Фазовый состав установлен по результатам рентгеноструктурного анализа и расшифровки электронограмм при комнатной температуре. Методами оптической и электронной (просвечивающей и растровой) микроскопии, EBSD-анализа подробно изучена микроструктура исследуемых сплавов.

Обнаружено, что по мере легирования изменяются структурный тип, микроструктура и морфологическая пакетно-пирамидальная иерархия мартенсита. В низколегированных сплавах обнаружена пакетная пластинчатая внутренне тонкодвойникованная морфология кристаллов L1₀-мартенсита. Толщина тонких внутренних двойников не превышает нескольких десятков нанометров.

Во всех среднелегированных сплавах формируется пакетный длиннопериодный NM-мартенсит ($N = 10, 14$), о чем свидетельствовали экстрарефлексы на электронограммах, расположенные эквидистантно на $1/5$ или $1/7$ (рис. 1 - 3) между основными рефлексами, а также сателлиты на рентгенограммах, возникающие в результате образования длиннопериодного мартенсита.

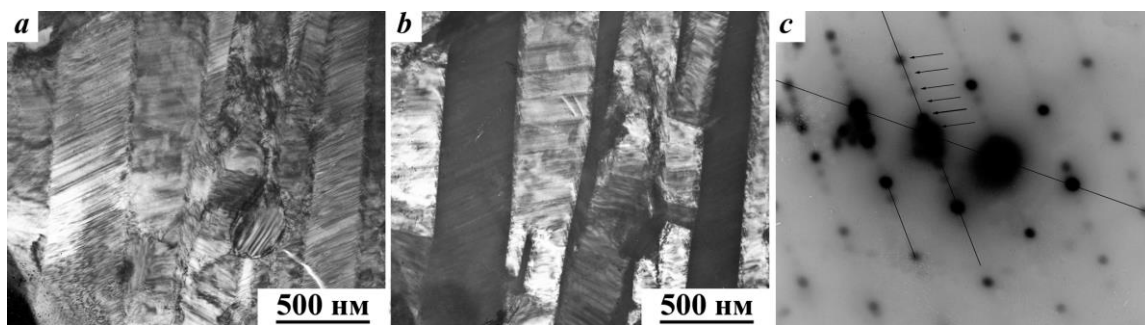


Рисунок 1. Типичные светло- (a), темнопольное (b) электронномикроскопические изображения и электронограмма (c) сплава $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{45}\text{Ti}_5$

Как показали результаты измерения электросопротивления, сплав, легированный 25 at.% алюминия, не испытывал мартенситного превращения при охлаждении до 100 К. Он так же, как и сплавы, легированные галлием, упорядочился в сверхструктуру высокого ранга L2_1 .

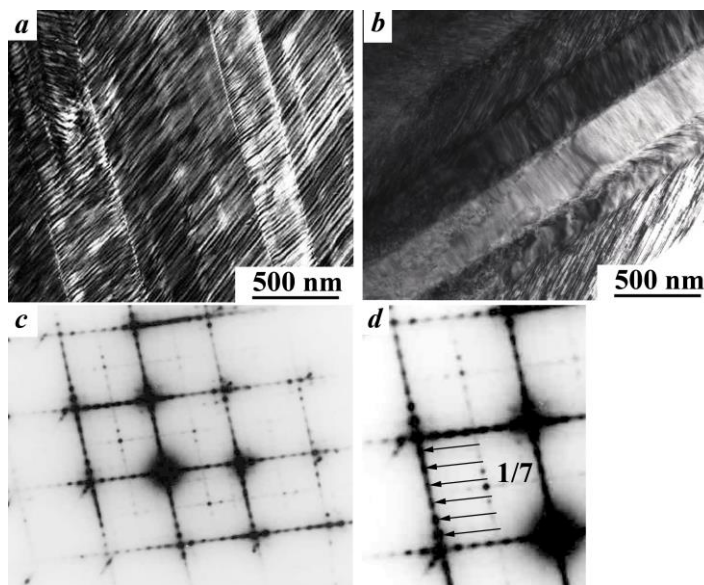


Рисунок 2. Типичные светло- (a, b) электронномикроскопические изображения, электронограмма (c) и ее увеличенный фрагмент (d) сплава $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{32}\text{Al}_{18}$

Термоупругое мартенситное превращение для ряда сплавов, легированных галлием [3], протекает в несколько ступеней: $\text{L2}_1 \rightarrow 10\text{M} \rightarrow 14\text{M}$ с образованием длиннопериодных структур. При этом субструктура фаз, характеризуется пакетным строением попарно двойникованных первичных кристаллов, содержащих вторичные более тонкие нанодвойники и дефекты упаковки. Наличие в мартенситной структуре сплавов иерархии пакетов кристаллов двойников фазы L1_0 или длиннопериодных фаз может быть следствием действия многозародышевого механизма развивающегося

превращения, при котором происходит аккомодационное адаптивное двойникование, прогрессирующее по мере охлаждения мартенсита.

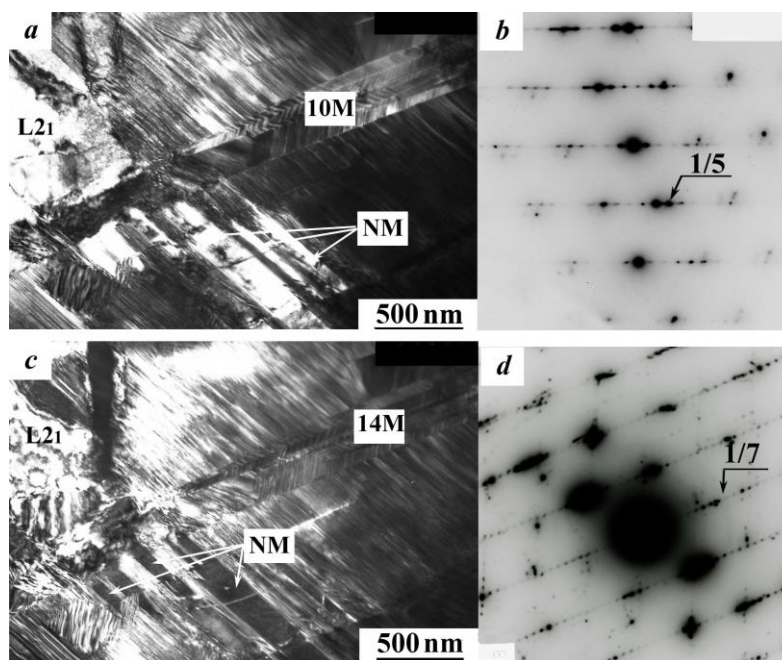


Рисунок 3. Типичные светлые (а, с) электронномикроскопические изображения, электронограммы (с, d) сплавов $\text{Ni}_{54}\text{Mn}_{21}\text{Ga}_{25}$

Структуру сплавов исследовали в ЦКП ИФМ УрО РАН. Работа выполнена при поддержке молодежного проекта ФАНО 14-2-НП-30, РФФИ (№ 14-02-00379) и Президиума РАН (№ 12-П-2-1060).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Особенности мартенситного превращения и тонкая структура интерметаллического соединения $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{50}$. В.Г. Пушин, Е.С. Белослудцева, В.А. Казанцев, Н.И. Коуров, Материаловедение, 2012. №11, С. 3-10.

2. Высокотемпературный эффект памяти формы и термоупругое мартенситное превращение B2-L1₀ в интерметаллическом соединении NiMn. В.Г. Пушин, Н.Н. Куранова, Е.Б. Марченкова, Е.С. Белослудцева, В.А. Казанцев, Н.И. Коуров, 2013, Журнал технической физики, 2013, том 83, вып. 6, С.104-113.

3. Магнитные и структурные фазовые переходы и степень тетрагональности термоупругого мартенсита в квазибинарных сплавах Гейслера $\text{Ni}_{2+x}\text{Mn}_{1-x}\text{Ga}$. В.Г. Пушин, Н.И. Коуров, А.В. Королев, Е.Б. Марченкова, Н.Н. Куранова, Е.С. Белослудцева. Физика твердого тела, 2015, том 57, вып. 1, С. 43-49.